Mr Dušan Korolija,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

DONOŠENJE ODLUKE OPRAVI-ODBACI KOD MODULARNO GRAĐENIH ELEKTRONSKIH UREĐAJA

UDC: 621.38.049.75-7

Rezime:

Važna odluka projektovanja pogodnosti održavanja jeste da li određenu modularnu celinu opravljati ili odbacivati pri otkazu (odluka opravi-odbaci). U ovom radu analiziran je uticaj ove odluke na kriterijume korektivnog održavanja. Razvijen je matematički model i metoda donošenja ove odluke za elektronski uređaj, koji se održava na dva nivoa. Osnova metode je generisanje svih varijanti odluke opravi-odbaci i, za svaku od njih, optimizacija početnih zaliha rezervnih modularnih celina i proračun kriterijuma korektivnog održavanja. Kriterijumi su vreme zastoja zbog korektivnog održavanja i troškovi korektivnog održavanja u životnom veku, koji zavise od ove odluke. Na osnovu rezultata proračuna određuje se optimalna varijanta. Na primeru hipotetičkog elektronskog uređaja prikazan je postupak optimizacije odluke opravi-odbaci.

Ključne reči: *opravljiva modularna celina, neopravljiva modularna celina, varijante odluke opravi-odbaci, varijante početnih zaliha rezervnih modularnih celina, optimalna varijanta početnih zaliha rezervnih modularnih celina, optimalna varijanta odluke opravi-odbaci.*

MAKING A REPAIR-DISCARD DECISION AT ELECTRONIC MODULE CONSTRUCTED DEVICES

Summary:

An important maintainability design decision is whether to design a particular module unit for repair or discard at failure (repair/discard decision). In this work the effects of this decision to criteria of corrective maintenance are analyzed. A mathematical model and a method for making this decision for an electronic device, which is maintained on two levels, are developed. The basis of this method is the generation of all variants of repair/discard decision and, for each of them, initial spare module units optimisation and criteria of corrective maintenance calculation. The criteria are corrective maintenance downtime and corrective maintenance cost in the life cycle, which dependent on this decision. According to the calculation results, the optimal variant is established. The procedure of repair/discard decision optimisation is illustrated through one hypothetical electronic device.

Key words: *repairable module unit, unrepairable module unit, variants of repair/discard decision, initial spare module units variants, optimal initial spare module units variant, optimal variant of repair/discard decision.*

Uvod

Savremeni elektronski uređaji najčešće su modularno građeni. Razvoj mikroračunarske tehnologije je o-

moćio ugradnju sistema za ispitivanje i dijagnostiku (UME — ugrađeni merni element, engl. BITE — Built-In Test Equipment) u ove uređaje. Modularnost elektronskog uređaja i

UME omogućuju da se pri otkazu uređaja brzo i lako otkrije i zameni neispravna modularna celina (MC). Neispravna MC se odbacuje ili šalje na određeni nivo održavanja, na kojem se obavlja njena opravka i ponovno vraćanje u jedan od kompleta rezervnih delova.

Odluku da li će se određena neispravna MC, pri korektivnom održavanju uređaja, odbacivati ili opravljati (u daljem tekstu — odluka opravi-odbaci), treba doneti još u toku razvoja uređaja. Naime, ukoliko se donese odluka da se određena MC opravlja, u nju treba u toku razvoja »ugraditi« određenu pogodnost održavanja, razviti specijalnu opremu i izraditi dokumentaciju i softver za održavanje. Ukoliko se donese odluka da se neispravna MC odbacuje, poželjno je da spoljašnje pakovanje ove MC bude hermetično, što poboljšava njenu pouzdanost i smanjuje nepovoljne uticaje vlažnosti i korozije.

Dakle, u određenoj fazi razvoja uređaja pojavljuje se problem donošenja odluke opravi-odbaci. Neki standardi za rešavanje ovog problema uzimaju u obzir samo dva parametra — pouzdanost i cenu MC. Za neopravljivu MC usvaja se ona koja ima veoma visoku pouzdanost ili relativno nisku cenu. Zbog toga što nisu uzeti u obzir i ostali relevantni parametri, odluka doneta na ovaj način može biti daleko od optimalne. Bolji način donošenja odluke opravi-odbaci je pomoću programskih paketa realizovanih na osnovu modela opravi-odbaci. Modeli uzimaju u obzir više parametara koji utiču na odluku.

U ovom radu razvijen je matematički model i metoda za donošenje optimalne odluke opravi-odbaci modularno građenog uređaja, koji se održava na dva nivoa. Model i metoda razvijeni su na temelju analize zavisnosti kriterijuma korektivnog održavanja od ove odluke i rezultata ranijih radova vezanih za korektivno održavanje modularno građenih elektronskih

uređaja: matematičkog modela korektivnog održavanja [1], postupka optimizacije rezervnih delova [2] i optimizacije izvođenja korektivnog održavanja [3].

Analiza uticaja odluke opravi-odbaci na kriterijume korektivnog održavanja

Operacije otkrivanja neispravne MC, zamene sa ispravnom, odbacivanja ili opravka, spadaju u domen korektivnog održavanja elektronskog uređaja. Donošenje optimalne odluke opravi-odbaci predstavlja deo optimizacije korektivnog održavanja uređaja. Kao relevantni kriterijumi za optimizaciju korektivnog održavanja izabrani su [1]:

— srednje vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja,

— ukupni troškovi korektivnog održavanja uređaja.

U ovom radu pod ukupnim troškovima korektivnog održavanja podrazumevaće se i troškovi razvoja i proizvodnje uređaja, koji su vezani za korektivno održavanje.

Ako se analizira izraz za srednje vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja na n-tom nivou održavanja:

$$MDT_{cn} = T_{prn} + 2T_{trn} + T_{\check{c}odn} + T_{zrdn} + T_{akon} + T_{\check{c}prn} \quad (1)$$

gde je:

T_{prn} — vreme prijavljivanja uređaja za održavanje,

T_{trn} — vreme transporta uređaja na održavanje i sa održavanja,

$T_{\check{c}odn}$ — vreme čekanja uređaja u radionici na održavanje,

T_{zrdn} — vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova,

T_{akon} — aktivno vreme korektivnog održavanja uređaja,

$T_{\text{čprn}}$ — vreme čekanja uređaja u radionici na predaju,

može se zaključiti da odluka opravi-odbaci nema bitnog uticaja na ovo vreme. Naime, ova odluka nimalo ne utiče na vremena u izrazu (1), osim na vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova (T_{zrdn}). Kada su rezervni delovi uređaja neopravljive MC, onda ovo vreme zavisi samo od efikasnosti snabdevanja rezervnim celinama, a ukoliko su rezervni delovi uređaja opravljive MC, onda ono zavisi i od efikasnosti korektivnog održavanja ovih celina.

Drugi kriterijum — ukupne troškove korektivnog održavanja uređaja, pogodno je razgraničiti na:

- troškove razvoja i proizvodnje uređaja, koji su vezani za korektivno održavanje,

- troškove ulaganja u korektivno održavanje uređaja na početku eksploatacije,

- troškove korektivnog održavanja u toku životnog veka uređaja.

Odluka opravi-odbaci ne utiče na ove troškove u svim segmentima korektivnog održavanja, osim na: snabdevanje uređaja sa MC, i korektivno održavanje MC.

Zbog toga će se analizirati samo troškovi ovih segmenata.

U toku razvoja uređaja u opravljivu MC treba ugraditi odgovarajuću pogodnost održavanja (merna mesta, interfejse, pristup komponentama, itd.), a u proizvodnji je treba realizovati. Do kraja razvoja treba razviti specijalnu opremu za održavanje opravljive MC, i izraditi dokumentaciju i softver za njeno održavanje. Zbog toga su troškovi razvoja i proizvodnje opravljive MC veći od ovih troškova za neopravljivu MC.

Na početku eksploatacije uređaja ne postoje troškovi ulaganja u korektivno održavanje neopravljivih MC. Za razliku od njih, u korektivno održavanje opravljivih MC ulažu se značajna sredstva. Za korektivno održavanje ovih celina potrebno je:

- nabaviti specijalnu opremu za defektaciju i otklanjanje otkaza,

- obučiti ljudstvo,

- nabaviti dokumentaciju i softver,

- obezbediti početne zalihe rezervnih komponenti za opravku MC.

Na početku eksploatacije elektronskog uređaja potrebno je za njegovo korektivno održavanje, pored ostalog, obezbediti i početne zalihe rezervnih MC. Ove zalihe su veće ako su MC neopravljive. Naime, kod neopravljivih MC najviši nivo snabdevanja rezervnim delovima mora imati neiscrpne količine ovih celina, jer se ne sme desiti da on otkaze. Kod opravljivih celina uređaj se može dovesti u ispravno stanje i u slučaju da su početne zalihe MC jednake nuli.

Troškovi korektivnog održavanja neopravljivih MC, u toku životnog veka uređaja, jednaki su nuli. Za razliku od njih, kod korektivnog održavanja opravljivih celina pojavljuju se troškovi: radne snage i utrošenih rezervnih komponenti za opravku MC.

Pri opravci uređaja zamenom MC pojavljuju se troškovi utrošenih rezervnih MC samo kada su te celine neopravljive, jer se one nakon zamene odbacuju. Opravljive MC se ne troše. Takve celine, nakon otkaza prelaze iz stanja sastavnih delova u objekte korektivnog održavanja, a nakon opravke opet u stanje sastavnog ili rezervnog dela. I u slučaju opravljivih i neopravljivih MC pojavljuju se troškovi transporta MC, koji su veći kod oprav-

ljivih MC, zbog toga što, pored njihovog transporta kao rezervnih delova, postoji i njihov transport na opravku.

Prethodna analiza pokazuje da odluka opravi-odbaci ima određeni uti-

caj na troškove nekih segmenata korektivnog održavanja. U tabeli 1 prikazani su relativni iznosi troškova ovih segmenata u zavisnosti od opravljivosti MC.

Tabela 1

Relativna zavisnost troškova korektivnog održavanja od opravljivosti MC

Troškovi	Neopravljive MC	Opravljive MC
Razvoj i proizvodnja		
Pogodnost održavanja MC	●	○÷○○
Specijalna oprema za opravku MC	●	○÷○○
Dokumentacija i softver za opravku MC	●	○÷○○
Početak životnog veka uređaja		
Nabavka specijalne opreme za opravku MC	●	○○÷○○○
Obuka kadra za opravku MC	●	○÷○○
Nabavka dokumentacije i softvera za opravku MC	●	○÷○○
Početne zalihe rezervnih delova		
— MC	○○○	○○÷○○○
— komponente za opravku MC	●	○÷○○
Tok životnog veka uređaja		
Radna snaga na opravci MC	●	○○÷○○○
Transport MC	○÷○○	○÷○○○
Utrošeni rezervni delovi		
— MC	○○÷○○○	●
— komponente za opravku MC	●	○÷○○

● — nema troškova ○ — mali troškovi ○○ — srednji troškovi
 ○○○ — veliki troškovi

Matematički model korektivnog održavanja elektronskog uređaja za donošenje odluke opravi-odbaci

Obraden je matematički model određenih segmenata korektivnog održavanja modularno građenog elektronskog uređaja, koji se održava na dva nivoa. Segmenti su prethodno već objašnjeni, a zajednička karakteristika im je da kriterijumi korektivnog održavanja zavise od odluke opravi-odbaci.

Na slici 1 prikazan je postupak korektivnog održavanja uređaja na dva nivoa, kada su njegove MC opravljive.

U radionici I nivoa održavanja elektronski uređaj se opravlja zamenom opravljive MC. Potrebna MC se uzima iz grupnog kompleta — 1 (GK-1). Ako MC nema u GK-1, obavlja se vanredna popuna tog kompleta MC iz grupnog kompleta — 2 (GK-2). Ako MC nema ni u GK-2, neispravna MC se vanredno šalje u radionicu na II nivou, gde se opravlja zamenom komponente. Opravljena MC se vanredno vraća u radionicu I nivoa, gde se zamenom

opravlja uređaj. U slučaju postojanja MC u GK-1 i GK-2, neispravna celina se redovno šalje u radionicu na II nivou, a odatle se, kada se opravi, redovno vraća u komplet iz kojeg je uzeta.

Na slici 2 prikazan je postupak korektivnog održavanja modularnog elektronskog uređaja kada su njegove MC neopravljive.

U radionici I nivoa održavanja elektronski uređaj se opravlja zamenom neopravljive MC. Potrebna MC se uzima iz GK-1. Ako MC nema u GK-1, obavlja se vanredna popuna tog kompleta MC iz GK-2. Ovaj komplet nikada ne sme otkazati i mora imati neiscrpne količine MC.

Matematički izrazi za proračun kriterijuma korektivnog održavanja

— srednje vreme zastoja uređaja zbog nedostatka MC:

$$T_{zrd} = \sum_{j=1}^B q_j t_{zj} \quad (2)$$

Sl. 1 — Korektivno održavanje elektronskog uređaja opravljivim MC

Sl. 2 — Korektivno održavanje elektronskog uređaja neopravljivim MC

gde je:

q_j — verovatnoća opravke uređaja j -tom MC,

t_{zj} — srednje vreme zastoja uređaja zbog nedostatka j -te MC,

B — broj MC.

Srednje vreme zastoja uređaja zbog nedostatka *neopravljive* MC dobija se pomoću izraza:

$$t_{zjn} = P_{j1} t'_1 \quad (3)$$

gde je:

t'_1 — srednje vreme vanredne popune GK-1 sa MC iz GK-2,

P_{j1} — verovatnoća otkaza GK-1, koja se dobija pomoću izraza:

$$P_{j1} = \frac{n_j A_j}{n_j z + n_j! \sum_{z=0} A_j/z!} \quad (4)$$

n_j — broj j -tih MC u GK-1,

$$A_j = t_1 \lambda_{j1uk} \quad (5)$$

t_1 — srednje vreme redovne popune GK-1 sa MC iz GK-2,

$$\lambda_{j1uk} = [K_{ej} \lambda_{j0} + (1 - K_{ej} \lambda_{jR})] b \cdot z \quad (6)$$

λ_{j0} — intenzitet otkaza j -te MC pod radnim opterećenjem,

λ_{jR} — intenzitet otkaza j -te MC kada je rasterećena,

K_{ej} — koeficijent eksploatacije j -te MC,

b — broj uređaja koji se održavaju u radionici I nivoa,

z — broj j -tih MC u uređaju.

Srednje vreme zastoja uređaja zbog nedostatka *opravljive* MC dobija se pomoću izraza:

$$t_{zjp} = t'_1 [P_{j1}(1 - P_{j2R}) + P_{j1R} P_{j2R}] + t'_{j2R} P_{j1R} P_{j2R} \quad (7)$$

$$t'_{j2R} = t'_{tr} + t_{j0} + t'_a \quad (8)$$

gde je:

t'_{tr} — srednje vreme vanrednog transporta neispravne MC od radionice I nivoa održavanja do radionice II nivoa održavanja,

t_{jo} — srednje vreme opravke j-te MC,
 t_a — srednje administrativno vreme
 zastoja MC pri njenoj vanred-
 noj opravci.

Verovatnoća otkaza GK-1, P_{j1R} , pod
 uslovom da tog dela nema u GK-2, do-
 bija se pomoću izraza:

$$P_{j1R} = \frac{n_j A_{j1R}}{n_j! \sum_{z=0}^{\infty} \frac{A_{j1R}^z}{z!}} \quad (9)$$

$$A_{j1R} = t_{j1R} \lambda_{j1uk} \quad (10)$$

$$t_{j1R} = t_l + t_{tr} + t_{jo} + t_a \quad (11)$$

gde je:

t_{tr} — srednje vreme redovnog tran-
 sporta neispravne MC od radio-
 nice I nivoa održavanja do ra-
 dionice II nivoa održavanja,

t_a — srednje administrativno vreme
 zastoja MC pri njenoj redovnoj
 opravci.

Verovatnoća otkaza GK-2 — P_{j2R}
 dobija se pomoću izraza:

$$P_{j2R} = \frac{m_j A_{j2R}}{m_j! \sum_{z=0}^{\infty} \frac{A_{j2R}^z}{z!}} \quad (12)$$

m_j — broj j-tih MC u GK-2,

$$A_{j2R} = t_{j2R} \lambda_{j2uk} \quad (13)$$

$$t_{j2R} = t_{tr} + t_{jo} + t_a \quad (14)$$

$$\lambda_{j2uk} = \lambda_{j1uk} R_1 \quad (15)$$

R_1 — broj radionica I nivoa održava-
 nja;

— *troškovi razvoja i proizvodnje
 pogodnosti održavanja oprav-
 ljivih MC:*

$$C_{po} = \sum_{j=1}^B (N_{poj} c_{rs} + C_{otpoj} + C_{prpoj} b R_1) \quad (16)$$

gde je:

N_{poj} — broj sati potrebnih za razvoj
 pogodnosti održavanja j-te
 MC,

c_{rs} — cena razvojnog sata,

C_{otpoj} — ostali troškovi razvoja pogod-
 nosti održavanja j-te MC (ma-
 terijal, energija, oprema, itd.),

C_{prpoj} — razlika u troškovima proizvo-
 dnje j-te MC, zbog ugrađene
 pogodnosti održavanja;

— *troškovi razvoja i proizvodnje
 specijalne opreme za opravku
 opravljivih MC:*

$$C_{op} = \sum_{j=1}^B (N_{opj} c_{rs} + C_{otoprj} + M_{opj} c_{ps} + C_{otoppj}) \quad (17)$$

gde je:

N_{opj} — broj sati potrebnih za razvoj
 opreme za opravku j-te MC,

C_{otoprj} — ostali troškovi razvoja opre-
 me za opravku j-te MC,

M_{opj} — broj sati potrebnih za proiz-
 vodnju opreme za opravku
 j-te MC,

c_{ps} — cena proizvodnog sata,

C_{otoppj} — ostali troškovi proizvodnje
 opreme za opravku j-te MC.

— *troškovi izrade dokumentacije
 i softvera za opravku opravljivi-
 vih MC:*

$$C_{dok} = \sum_{j=1}^B C_{idj} \quad (18)$$

C_{idj} — troškovi izrade dokumentacije
 i softvera za održavanje j-te
 MC.

— troškovi obuke ljudstva za opravku opravljivih MC:

$$C_{ob} = \sum_{j=1}^B K_{sl2} c_{ob} T_{obj} \quad (19)$$

gde je:

K_{sl2} — broj slušalaca sa drugog nivoa održavanja,

c_{ob} — cena dnevne obuke po slušaocu,

T_{obj} — trajanje obuke za opravku j-te MC;

— troškovi početnih zaliha rezervnih delova:

Troškovi početnih zaliha *opravljivih i neopravljivih MC* dobijaju se pomoću izraza:

$$C_{zmc} = R1 \sum_{j=1}^B n_j (c_{mcj} + C_{prpoj} OPR_j) + \sum_{j=1}^B m_j (c_{mcj} + C_{prpoj} OPR_j) OPR_j \quad (20)$$

gde je:

c_{mcj} — cena j-te MC,

OPR_j — koeficijent opravljivosti MC (1 — opravljiva MC, 0 — neopravljiva MC).

Količine MC n_j i m_j za opravljive i n_j za neopravljive MC u toku održavanja se mogu iscrpsti. Za razliku od njih, zalihe neopravljivih MC u GK-2 (m_j) treba da budu MC neiscrpne, odnosno ne sme se desiti da u toku održavanja takvih MC nema u GK-2. Nabavljaju se za određeni period ili za ceo period eksploatacije uređaja. Troškovi ovih zaliha su u ovom modelu prikazani kroz troškove utrošenih *neopravljivih MC*. Stoga su u izrazu (20) početni troškovi neopravljivih MC u GK-2 jednaki nuli, kako ne bi došlo do dupliranja troškova.

Početne zalihe komponenti u GK-2, za opravku *opravljivih MC*, formiraju se na isti način kao i zalihe neopravljivih MC u GK-2. Troškovi ovih

zaliha prikazani su kroz troškove utrošenih komponenti za opravku *opravljivih MC*.

— troškovi radne snage na *opravci opravljivih MC*:

$$C_{umc} = c_{rs2} T_{ek} R1 \sum_{j=1}^B t_{jo} \lambda_{j1uk} \quad (21)$$

gde je:

c_{rs2} — cena radnog sata na II nivou održavanja,

T_{ek} — trajanje eksploatacije uređaja;

— troškovi transporta MC:

Troškovi transporta *opravljivih MC* dobijaju se pomoću izraza:

$$C_{tmco} = T_{ek} R1 \sum_{j=1}^B \lambda_{j1uk} [P_{jo1} c_{pvj} + (1 - P_{jo1}) c_{prj} + P_{jo1} P_{j2R} c_{tvj} + (1 - P_{jo1} P_{j2R}) c_{trj}] \quad (22)$$

$$P_{jo1} = (1 - P_{j2R}) P_{j1} + P_{j2R} P_{j1R} \quad (23)$$

gde je:

c_{pvj} — cena vanrednog transporta rezervne MC od GK-2 do GK-1,

c_{prj} — cena redovnog transporta rezervne MC od GK-2 do GK-1,

c_{tvj} — cena vanrednog transporta neispravne MC od radionice na I nivou održavanja do radionice na II nivou održavanja,

c_{trj} — cena redovnog transporta neispravne MC od radionice na I nivou održavanja do radionice na II nivou održavanja.

Troškovi transporta *neopravljivih MC* dobijaju se pomoću izraza:

$$C_{tmcn} = T_{ek} R1 \sum_{j=1}^B \lambda_{j1uk} [P_{jo1} c_{pvj} + (1 - P_{jo1}) c_{prj}] \quad (24)$$

— troškovi utrošenih rezervnih delova:

Troškovi utrošenih *neopravljivih* MC dobijaju se pomoću izraza:

$$C_{umc} = T_{ek} R1 \sum_{j=1}^B C_{mcj} \lambda_{j1uk} \quad (25)$$

Troškovi utrošenih komponenti za opravku *opravljivih* MC dobijaju se pomoću izraza:

$$C_{uk} = T_{ek} R1 \sum_{j=1}^B \sum_{i=1}^{L_{ji}} c_i \lambda_{ji1uk} \quad (26)$$

$$\lambda_{ji1uk} = [K_{ej} \lambda_{iO} + (1 - K_{ej} \lambda_{iR})] b z \quad (27)$$

gde je:

c_i — cena i-te komponente,

L_{ji} — broj vrsta komponenti u j-toj modularnoj celini,

λ_{iO} — intenzitet otkaza opterećene i-te komponente,

λ_{iR} — intenzitet otkaza i-te komponente kada je rasterećena.

Kada se opravka svih MC obavlja samo u jednoj radionici II nivoa održavanja, u matematičkom modelu se ne pojavljuju troškovi nabavke specijalne opreme za opravku MC i nabavke dokumentacije i softvera za opravku MC.

Metodologija donošenja optimalne odluke opravi-odbaci

Ako se elektronski modularni uređaj sastoji od B MC, i ako svaka njegova MC može biti opravljiva ili neopravljiva, broj varijanti odluke opravi-odbaci ovog uređaja dat je izrazom:

$$NV = 2^B \quad (28)$$

Na primer, ako uređaj ima 3 MC (A, B, C), i ako se opravljivost MC oz-

nači sa 1, a neopravljivost sa 0, dobiju se varijante odluke opravi-odbaci prikazane u tabeli 2.

Tabela 2

Varijante odluke opravi-odbaci uređaja sa tri MC

Broj varijante	A	B	C
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	1	0
4	0	1	1
5	1	0	0
6	1	0	1
7	1	1	0
8	1	1	1

Problem donošenja optimalne odluke opravi-odbaci svodi se na izbor one varijante odluke opravi-odbaci pri kojoj se dozvoljeno vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja postiže uz minimalne ukupne troškove korektivnog održavanja u životnom veku uređaja. Pri izboru ove varijante dovoljno je analizirati troškove samo onih segmenata korektivnog održavanja, u životnom veku uređaja, kod kojih ovi troškovi zavise od odluke opravi-odbaci i koji su matematički operacionalizovani u prethodnoj tački. U nastavku će se pod izrazom troškovi korektivnog održavanja podrazumevati samo ti troškovi.

Na slici 3 prikazan je postupak donošenja optimalne odluke opravi-odbaci kod elektronskog uređaja.

Kao ulazni podaci pojavljuju se logistički, tehnički i ekonomski parametri.

Za svaku varijantu odluke opravi-odbaci potrebno je izvršiti optimi-

Sl. 3 — Postupak donošenja optimalne odluke opravi-odbaci

zaciju početnih iscrpnih zaliha rezervnih MC u grupnim kompletima rezervnih delova, odnosno, odrediti NV skupova optimalnih varijanti početnih iscrpnih zaliha MC.

Za svaku optimalnu varijantu početnih iscrpnih zaliha MC, iz skupova optimalnih, vrši se proračun zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja i troškova korektivnog održavanja. Na osnovu dobijenih rezultata i zadatog vremena zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja određuje se optimalna varijanta početnih iscrpnih zaliha rezervnih MC svake varijante odluke opravi-odbaci [3].

Na osnovu vrednosti srednjeg vremena zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja i troškova korektivnog održavanja pri optimalnoj varijanti početnih iscrpnih zaliha rezervnih MC bira se optimalna varijanta odluke opravi-odbaci. Izbor ove varijante analogan je izboru optimalne varijante nadležnosti održavanja, koji je objašnjen u [3].

Primer donošenja optimalne odluke opravi-odbaci

Na osnovu matematičkog modela i postupka donošenja optimalne odluke opravi-odbaci razvijen je program OPRMOD. Pomoću programa izvršen je proračun ove odluke jednog hipotetičkog elektronskog uređaja, za različite ulazne podatke.

Uređaj se sastoji od 3 MC, a u tabeli 3 dati su intenziteti otkaza i cene.

Tabela 3
Intenziteti otkaza i cene MC elektronskog uređaja

Modularna celina	Intenzitet otkaza (x 10 ⁻⁶)	Cena (dinara)
MC-1	60	2500
MC-2	25	4500
MC-3	90	7000

U nastavku su prikazani ostali ulazni logistički, tehnički i ekonomski parametri, korišćeni u ovom primeru.

Logistički parametri:

- koeficijent eksploatacije uređaja 0,6
- trajanje eksploatacije uređaja 5 god.
- broj uređaja koji se održavaju u radionici I nivoa 5
- broj radionica I nivoa održavanja 10
- srednje vreme transporta uređaja na održavanje 0,5 h

- srednje vreme redovne popune GK-1 sa modularnom celinom iz GK-2 150 h
- srednje vreme vanredne popune GK-1 sa MC iz GK-2 24 h
- srednje vreme redovnog transporta neispravne MC od I do II nivoa održavanja 150 h
- srednje vreme vanrednog transporta neispravne MC od I do II nivoa održavanja 24 h
- broj slušalaca obuke sa drugog nivoa održavanja 4
- trajanje obuke za opravku MC 10 dana

Tehnički parametri:

- srednje vreme opravke uređaja zamenom MC 0,2 h
- srednje vreme opravke MC 4 h
- broj sati potrebnih za razvoj pogodnosti održavanja MC 100 h
- broj sati potrebnih za razvoj opreme za opravku MC 300 h
- broj sati potrebnih za proizvodnju opreme za opravku MC 50 h

Ekonomski parametri:

- cena vanrednog transporta rezervne MC od GK-2 do GK-1 100 din.
- cena redovnog transporta rezervne MC od GK-2 do GK-1 5 din.
- cena vanrednog transporta neispravne MC od radionice na I nivou održavanja do radionice na II nivou održavanja 100 din.

- cena redovnog transporta neispravne MC od radionice na I nivou održavanja do radionice na II nivou održavanja 5 din.
- cena radnog sata na II nivou održavanja 80 din.
- cena razvojnog sata 100 din.
- ostali troškovi razvoja pogodnosti održavanja MC 1000 din.
- razlika u troškovima proizvodnje MC, zbog ugrađene pogodnosti održavanja 500 din.
- ostali troškovi razvoja opreme za opravku MC 2000 din.
- cena proizvodnog sata 80 din.
- ostali troškovi proizvodnje opreme za opravku MC 7000 din.
- cena dnevne obuke po slušaocu 800 din.
- troškovi izrade dokumentacije i softvera za održavanje j-te MC 40000 din.

U određivanju optimalne varijante odluke opravi-odbaci kao ograničenje ja uzeto da je srednje vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja $MDT_c \leq 5$ h, pa su svi rezultati optimizacije postignuti ovim ograničenjem.

Kako se uređaj sastoji od 3 MC broj varijanti odluke opravi-odbaci iznosi 8, a prikazane su u tabeli 2. Na slici 4 prikazan je međurezultat proračuna optimalne varijante odluke opravi-odbaci — zavisnost troškova korektivnog održavanja od varijanti odluke opravi-odbaci, za različite koeficijente eksploatacije uređaja ($K_e=0,1; 0,6; 0,9$).

U slučaju da se uređaj u eksploataciji malo koristi ($K_e=0,1$) najmanji troškovi korektivnog održavanja su za varijantu 000, što znači da je optimalna odluka da sve MC budu neopravljive. Vidi se da su troškovi korektivnog održavanja ove varijante duplo manji od varijante 111 — da su sve MC opravljive. Ako se uređaj u eksploata-

ciji koristi 60% vremena ($K_c=0,6$) optimalna odluka jeste da MC A i C budu opravljive, a B neopravljiva. U slučaju da se uređaj u eksploataciji mnogo koristi ($K_c=0,9$) optimalna odluka je da sve MC budu opravljive.

Na slici 5 prikazana je, proračunom dobijena, zavisnost troškova korektivnog održavanja od varijanti odluke opravi-odbaci, za različito trajanje eksploatacije uređaja ($T_{ek}=5$ i 10 god.).

Sl. 4 — Zavisnost troškova korektivnog održavanja od varijanti odluke opravi-odbaci, za različite koeficijente eksploatacije uređaja

Sl. 5 — Zavisnost troškova korektivnog održavanja od varijanti odluke opravi-odbaci, za različito trajanje eksploatacije uređaja

Troškovi korektivnog održavanja

Troškovi	Varijanta 000		Varijanta 111	
	T.		T.	
	5 god.	10 god.	5 god.	10 god.
	(dinara)			
Razvoj i proizvodnja				
Pogodnost održavanja MC	—	—	108000	108000
Specijalna oprema za opravku MC	—	—	129000	129000
Dokumentacija i softver za opravku MC	—	—	120000	120000
Početak životnog veka uređaja				
Nabavka specijalne opreme za opravku MC	—	—	0	0
Obuka kadra za opravku MC	—	—	96000	96000
Nabavka dokumentacije i softvera za opravku MC	—	—	0	0
Početne zalihe rezervnih delova — MC	140000	140000	181000	181000
— komponente za opravku MC	—	—	0	0
Tok životnog veka uređaja				
Radna snaga na opravci MC	—	—	49056	98112
Transport MC	1067	2134	1850	3700
Utrošeni rezervni delovi — MC	781830	1563660	—	—
— komponente za opravku MC			4292	8584
Ukupni troškovi korektivnog održavanja	922897	1705790	689198	744397

Može se uočiti da je u slučaju trajanja eksploatacije uređaja od 5 godina optimalna varijanta 001 — da MC A i B budu neopravljive, a MC C opravljiva, a ako je trajanje eksploatacije uređaja 10 godina optimalna odluka je da sve MC budu opravljive.

U tabeli 4 dati su raščlanjeni proračunom dobijeni troškovi korektivnog održavanja, u slučaju da su sve MC neopravljive (varijanta 000) i u slučaju da su sve MC opravljive (varijanta 111), posebno za trajanje eksploatacije uređaja 5 i 10 godina.

Zaključak

Mnogi do sada razvijeni modeli opravi-odbaci uzimali su u obzir alokaciju zaliha rezervnih modularnih celina, ali nisu koristili njihovu optimizaciju [4]. U ovom radu utvrđen je značajan uticaj ove odluke na izabrane kriterijume korektivnog održavanja upravo na polju snabdevanja potrebnim modularnim celinama. Zbog toga se u radu optimizacija rezervnih modularnih celina nalazi u osnovi razvijene metode za izbor optimalne odluke opravi-odbaci. Kako se optimizacija izvodi istovremeno za sve modularne celine uređaja [2], to je u radu bilo neophodno uvesti varijante odluke opravi-odbaci. Na taj način i odluka se ne donosi za svaku modularnu celinu posebno, kako se to izvodi u dosadaš-

njim modelima [4], nego se traži optimalna varijanta odluke, u kojoj su definisane opravljivosti svake modularne celine.

Razvijeni matematički model i metoda donošenja optimalne odluke opravi-odbaci elektronskog uređaja, koji se održava na dva nivoa, predstavlja dobru osnovu za izgradnju modela i programa za donošenje ove odluke kod elektronskih uređaja koji se održavaju na više nivoa održavanja i koji imaju više nivoa modularnih celina (više i niže modularne celine). Kako se u toku razvoja uređaja donose i druge odluke vezane za ITOB (pouzdanost, modularnost, koncept održavanja, itd.), između kojih postoji visok nivo međuzavisnosti, i ovaj program bi bio samo jedan modul programskog paketa za optimizaciju kompletnog ITOB razvijanog uređaja.

Realizovani program za donošenje odluke opravi-odbaci može se primeniti i pri uvođenju uređaja u eksploataciju, naročito u slučaju kada se o ovome problemu ne vodi računa u toku njegovog razvoja ili u slučaju kupovine uređaja na tržištu. Metoda se može u potpunosti primeniti i za donošenje ove odluke kod mašinskog uređaja, s tim da se dati matematički model može primeniti samo u onom delu gde je intenzitet otkaza konstantan.

Literatura:

- [1] Korolija, D.: Model korektivnog održavanja elektronskih uređaja u sistemu održavanja sa više nivoa, Vojnotehnički glasnik 6/97, str. 649—661, 1997.
- [2] Korolija, D.: Optimizacija rezervnih delova za održavanje modularno građenih elektronskih sredstava, Vojnotehnički glasnik 5/96, str. 517—524, 1996.
- [3] Korolija, D.: Optimizacija korektivnog održavanja elektronskog uređaja, nabavljenog na tržištu, Vojnotehnički glasnik 3/98, str. 281—294, 1998.
- [4] Kline, M.: Linking LOR Models to Provisioning Models, 1985 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, New York, IEEE, 1985, 362—368.
- [5] Korolija, D.: Model snabdevanja modularno građenih elektronskih uređaja rezervnim delovima, magistarski rad, Zagreb, ETF, 1988.
- [6] Barković, M.: Prilog optimizaciji višenivojskog sistema održavanja elektronskih sredstava, doktorska disertacija, Zagreb, CVTŠ KoV JNA, 1989.
- [7] Korolija, D.: Troškovi transporta rezervnih delova za održavanje modularno građenih elektronskih uređaja, Vojnotehnički glasnik 1/97, str. 15—22, 1997.
- [8] Blanchard, B.: Design and Manage to LIFE CYCLE COST, M/A Press, Portland Oregon, 1978.
- [9] Muždeka, S.: Logistika — logističko inženjerstvo, Beograd, Tehnička uprava SSNO, 1981.